

ISSN 1411 - 9471

Volume 8 Nomor 1, Januari 2008

Jurnal TEKNIK MESIN

TERAKREDITASI
Nomor : 56/DIKTI/Kep/2005

JURNAL
TEKNIK MESIN

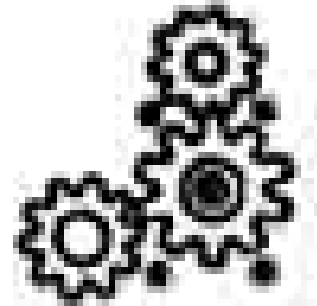
Volume 8

Nomor 1

Halaman
1 - 77

SURABAYA
Januari 2008

ISSN
1411-9471

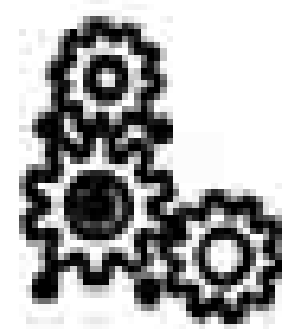


Jurnal TEKNIK MESIN

Volume 8 Nomor 1, Januari 2008

ISSN 1411 – 9471, TERAKREDITASI Nomor : 56/DIKTI/Kep/2005

- Penggunaan Karet Alam sebagai Bahan Pembuatan Bantalan Mesin
Dadi R. Maspanger halaman 1 - 8
- Pengaruh Deformasi Plastis Awal (*Prestrain*) terhadap Korosi Retak Tegang *Stainless Steel* 304 dalam Larutan $MgCl_2$
Mohammad Badaruddin, Harnowo Supriadi, Arinal Hamni halaman 9 - 14
- Mekanika dan Karakteristik Slamming Kapal SWATH: Analisa Ranah-Frekuensi dan Probabilistik
Eko B. Djatmiko halaman 15 - 26
- Metoda Phase-Plane untuk Penyelesaian Numerik Sistem Persamaan Diferensial Ordo Dua
Bambang Daryanto W. halaman 27 - 33
- Komparasi Kinerja antara Sistem Ventilasi Pencampuran dengan Pengalihan Udara Kasus: Ruangan Kantor Khusus
Bambang Iskandriawan, Paul Indiyono, Herman Sasongko, Prabowo halaman 34 - 47
- Struktur Aliran Udara pada Empat Buah Silinder yang Tersusun secara Bujur Sangkar pada Jarak Kritis ID
Benny D. Leonanda, Paulus Indiyono, Wisnu Wardhana, Herman Sasongko halaman 48 - 56
- Pengaruh Jumlah Reaktan dan Waktu Reaksi pada Pembuatan Biodiesel Dari Biji Karet dengan Proses Transesterifikasi
Hartono Notopuro, Ely Novi Darismayanti, Devi Suryani, Bambang Sudarmanta, M. Rachimoellah halaman 57 - 65
- Simulation of Combustion Chamber Pressures of Two-Stroke Linier Engine
Tulus, Ahmad Kamal Ariffin halaman 66 - 77



Pengaruh Deformasi Plastis Awal (*Prestrain*) terhadap Korosi Retak Tegang *Stainless Steel* 304 dalam Larutan $MgCl_2$

Mohammad Badaruddin, Harnowo Supriadi dan Arinal Hamni
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik-Universitas Lampung
Jalan Prof. S Brojonegoro No.1, Bandar Lampung, 35145
Telp.: (62721) 704947, Fax: (62721) 704947
E-mail: m_badra03@yahoo.com

Diterima 9 Agustus 2007; diterima terkoreksi 13 Nopember 2007; disetujui 26 Nopember 2007

Abstract

The effect of prestrain on the stress corrosion cracking (SCC) of the type of 304 stainless steel was investigated in boiling magnesium chloride solution test with U-bend specimen. In this research, the plate of AISI 304 stainless steel was axially prestrained up until uniformly reaching engineering strain around 10%-25% at the room temperature. Stress corrosion cracking test was carried out using ASTM G-36 standard containing the concentration of 42% $MgCl_2$ solution in $145^\circ C$ temperature during 288 hours. The results indicated that the SCC of the prestrain specimen was essentially different from others. Intergranular cracking of prestrain material changed into a mixed mode or dominant transgranular when the degree of prestrain was increased. The greater level of prestrain is enhanced SCC susceptibility by shortening failure time and accelerating crack initiation and propagation rates.

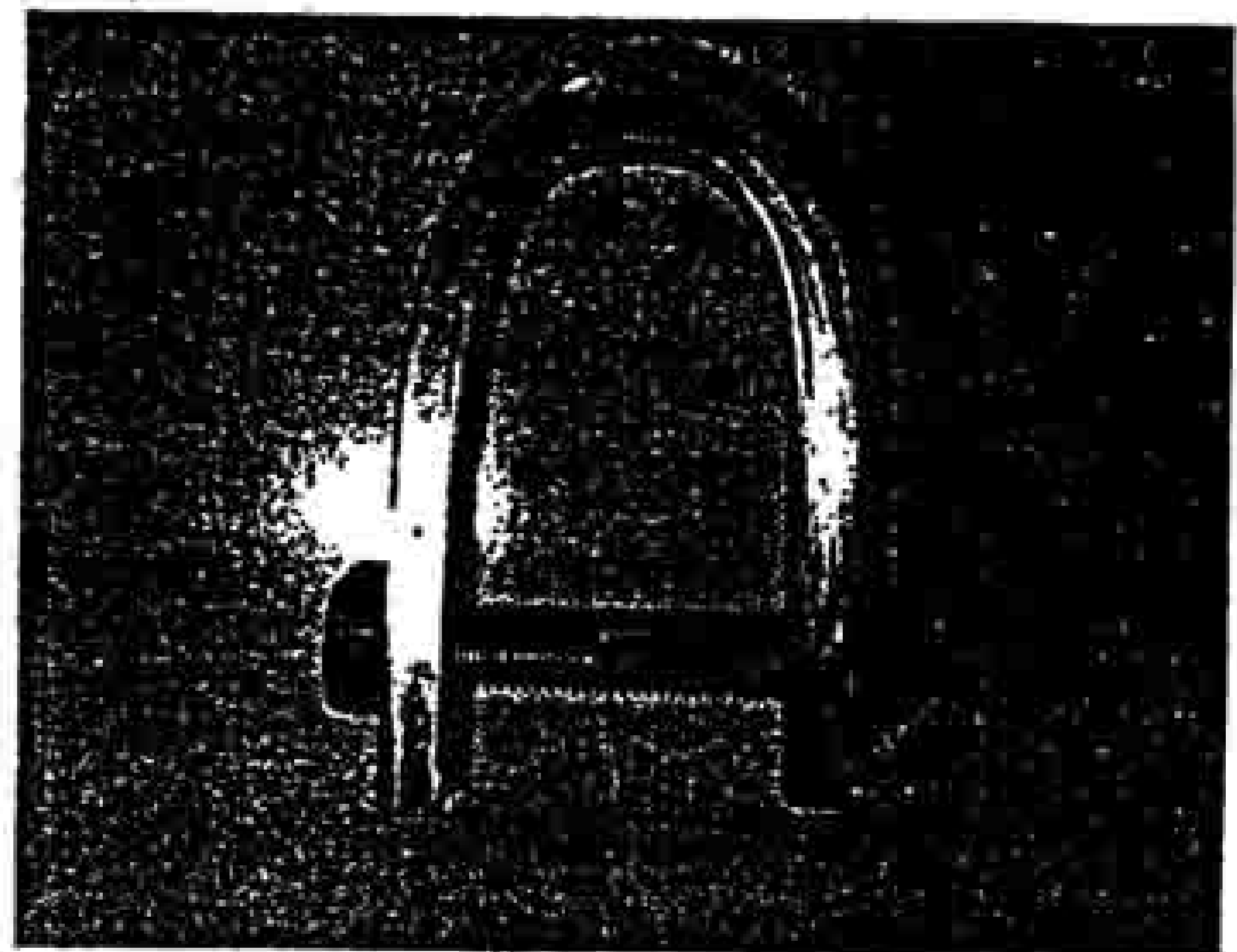
Keywords: 304 stainless steel, prestrain, intergranular-transgranular cracking.

Perilaku korosi retak tegang (SCC) pada *stainless steel* adalah proses yang sangat penting untuk dipelajari karena pengaruhnya sangat besar pada bahan selama aplikasi, seperti pada industri petrokimia, pengeboran minyak dan *power plant*. Kegagalan yang terjadi tidak dapat diprediksi dan dapat menimbulkan kerugian biaya, keamanan, kesehatan dan lingkungan pada manusia [1]. Pemilihan bahan dan proses manufaktur dapat mempengaruhi perilaku SCC pada konstruksi dari bahan *stainless steel*.

Proses pembentukan dengan deformasi plastis dingin dan pengelasan dapat menurunkan kemampuan SCC *stainless steel* tipe austenit [2]. Kegagalan pada pipa *stainless steel* 316 disebabkan oleh klorida yang berasal dari lingkungan industri sekitar, proses penekukan dan pembentukan pipa sebelum instalasi menimbulkan tegangan sisa tarik sebagai pemicu SCC [3]. Laju pengerasan regang pada austenit *stainless steel* sangat tinggi dan perbedaan pada level pengerjaan dingin dapat menghasilkan perubahan yang besar pada sifat mekaniknya [4]. Banyak usaha yang telah dilakukan untuk mempelajari perilaku korosi retak tegang pada *stainless*

steel dalam lingkungan yang mengandung klorida (Cl^-) berkaitan dengan deformasi plastis yang terjadi pada *stainless steel* 304 dengan proses *drawing* dan *rolling* [5,6]. Namun faktor alami, seperti gempa bumi, juga dapat menimbulkan deformasi plastis pada konstruksi baja, sehingga bahan menjadi getas [7,8] belum dipelajari.

Deformasi plastis awal (*prestrain*) dalam arah aksial diberikan sebagai usaha untuk



Gambar 1. Spesimen uji korosi U-bend

memasukan faktor seismik [8], dan mempelajari pengaruhnya terhadap SCC pada *stainless steel* 304 dalam larutan $MgCl_2$ yang dididihkan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan *stainless steel* (SS) 304 bentuk pelat dengan tebal 5 mm, komposisi kimia (wt%) yaitu: 0.08% C, 0.035% S, 0.045% P, 2.0% Mn, 1.0% Si, 8.0-11.0% Ni dan 18.0-20.0% Cr, dan sifat mekanik $\sigma_u = 434,42$ MPa, $\sigma_y = 324,07$ MPa dan elongasi = 40%. Pelat SS 304 dengan ukuran 40 x 200 mm dipotong sebanyak 5 keping, kemudian ditarik secara aksial hingga mencapai regangan teknik sebesar 10%, 15%, 20%, dan 25% pada temperatur ruang, menggunakan mesin *servo hydraulic* UTM 9506 dengan kontrol *displacement* 0,3 mm/sec. Pelat yang sudah *diprestrain* dipotong lagi dengan ukuran 10 x 200 mm untuk pembuatan spesimen *U-bend* (Gambar 1)[9].

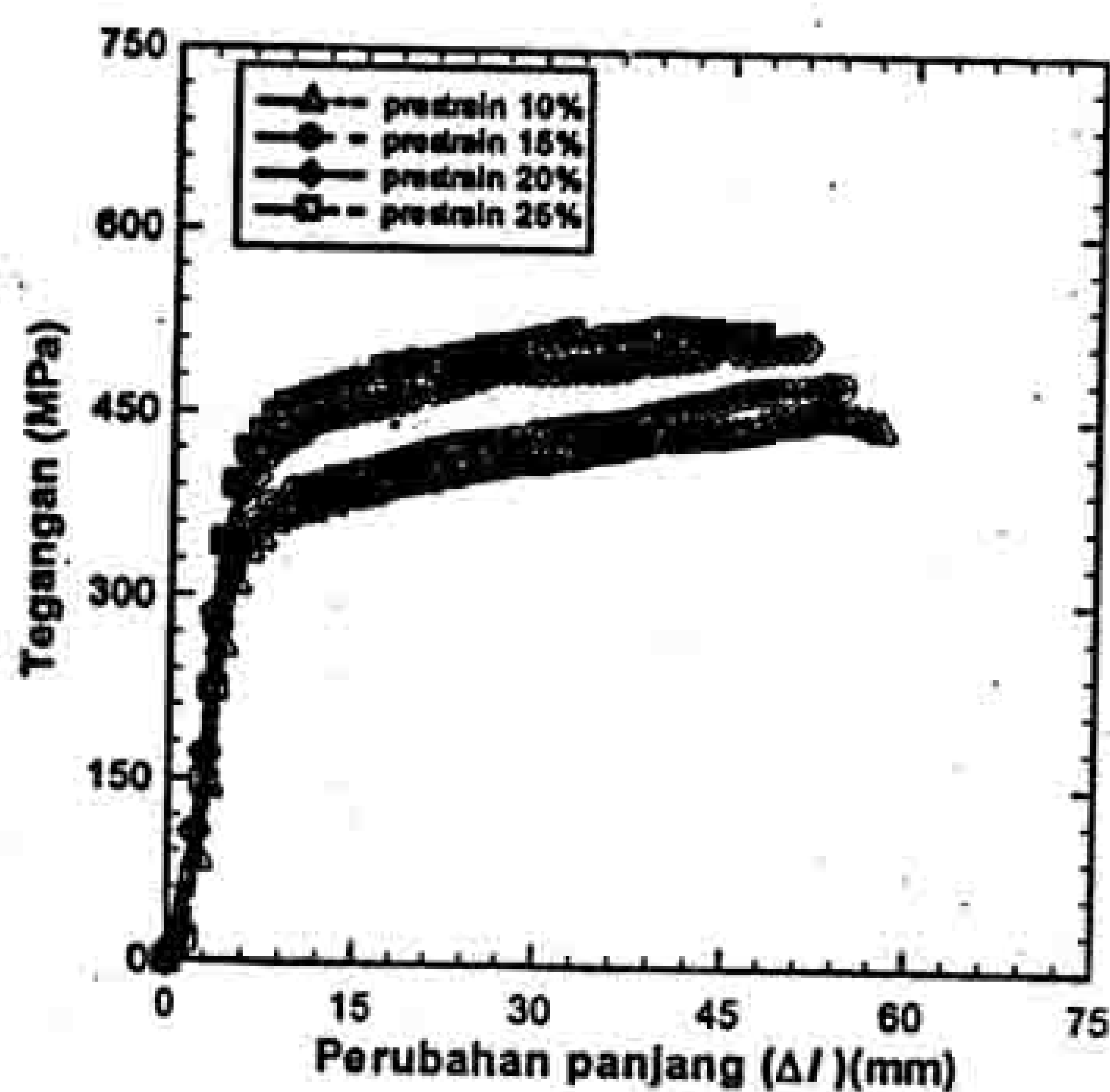
Sebelum pengujian semua spesimen dibersihkan dan disterilkan dengan menggunakan alkohol 98% didalam gelas reaksi 1 liter selama 10 menit dan dipasivasi dalam larutan HNO_3 15%. Pengujian korosi dilakukan menurut standar ASTM G-36 [10]. Spesimen diuji di dalam larutan $MgCl_2$ yang dididihkan pada temperatur $145 \pm 1^\circ C$ dengan

konsentrasi 42% (wt), dan kondensor tipe *Allihn* yang dimodifikasi digunakan untuk mencegah penguapan dan kehilangan klorida selama pengujian 288 jam. Uji tarik dan uji kekerasan mikro *Vickers* dengan beban 200 gr selama 15 detik juga dilakukan sebagai data pendukung.

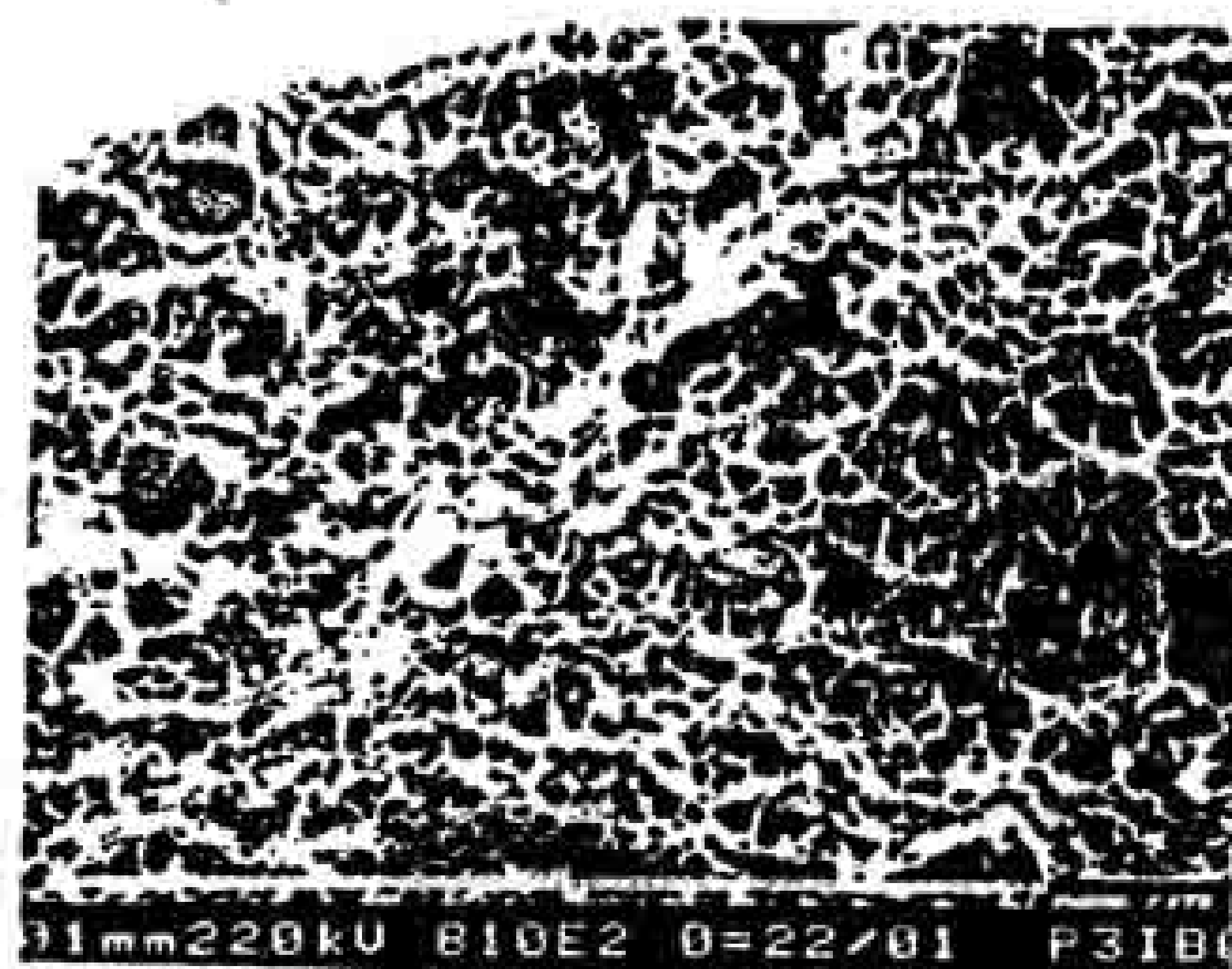
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Tarik

Hasil uji tarik statis dilakukan pada ke empat jenis spesimen berupa nilai tegangan maksimum, tegangan luluh dan elongasi



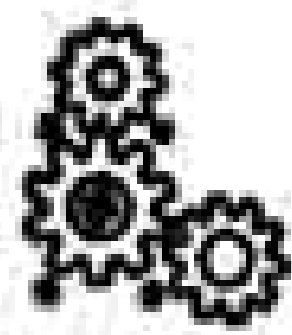
Gambar 2. Kurva tegangan vs. Δl SS304 yang diprestrain



Gambar 3. Pola patahan liat pada spesimen *prestrain* 10%



Gambar 4. Pola patahan getas pada spesimen *prestrain* 25%



(Gambar 2). Dapat dilihat bahwa peningkatan tegangan hasil *prestrain* sangat signifikan pada tegangan maksimum maupun tegangan luluhnya.

Deformasi plastis yang diberikan dalam arah aksial, akan mengakibatkan terjadinya dislokasi pada logam. Ketika deformasi plastis diberikan, kepadatan akibat dislokasi akan meningkat dan mobilitas dislokasi juga meningkat, yang menyebabkan bahan menjadi keras (*work hardening*).

Deformasi plastis yang menyebabkan dislokasi, seperti *prestrain* dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik bahan, namun keuletannya menurun yang dapat diidentifikasi dari penurunan nilai elongasinya. Hal ini disebabkan bahan sudah mengalami sifat dari liat ke getas, seperti yang ditunjukkan dari hasil patahannya (Gambar 3 dan 4).

Hasil Uji Kekerasan

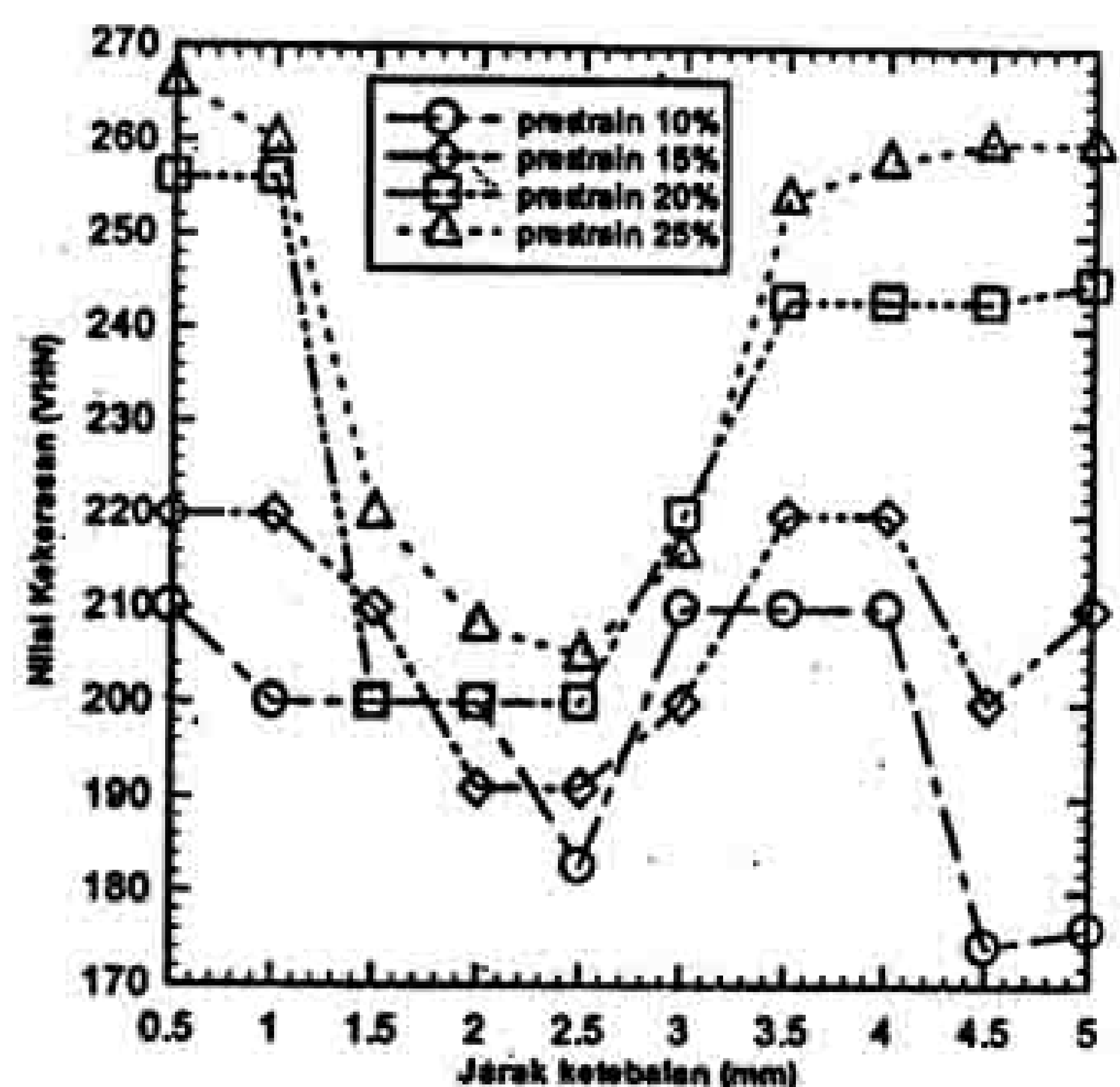
Uji kekerasan mikro *Vickers* dilakukan dengan mengambil 10 titik pada ketebalan spesimen, setelah proses penekukan (Gambar 5). Deformasi plastis akibat *prestrain* akan meningkatkan densitas dislokasi sehingga mempengaruhi nilai kekerasannya pada daerah tersebut. Harus dicatat bahwa dislokasi dan pita-pita deformasi umumnya lebih dominan pada deformasi plastis dalam temperatur ruang, untuk menghasilkan pengerasan regangan. Level dan distribusi tegangan internal yang dihasilkan sulit untuk dijumlahkan dan tergantung dari beberapa faktor seperti: jenis tegangan, temperatur dan level deformasi plastis. Level tegangan internal akan meningkat seiring meningkatnya level deformasi plastis yang terjadi pada bahan.

Hasil Uji Korosi

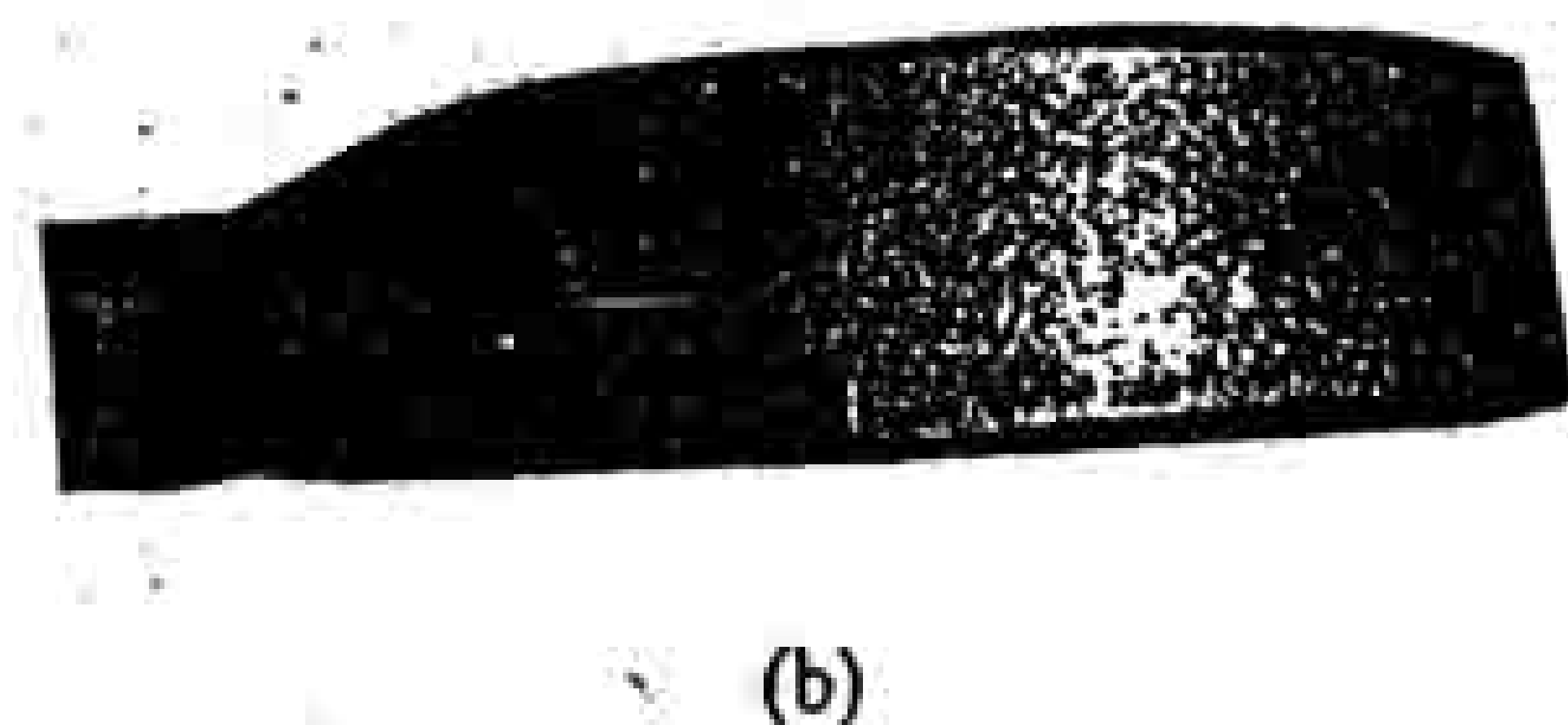
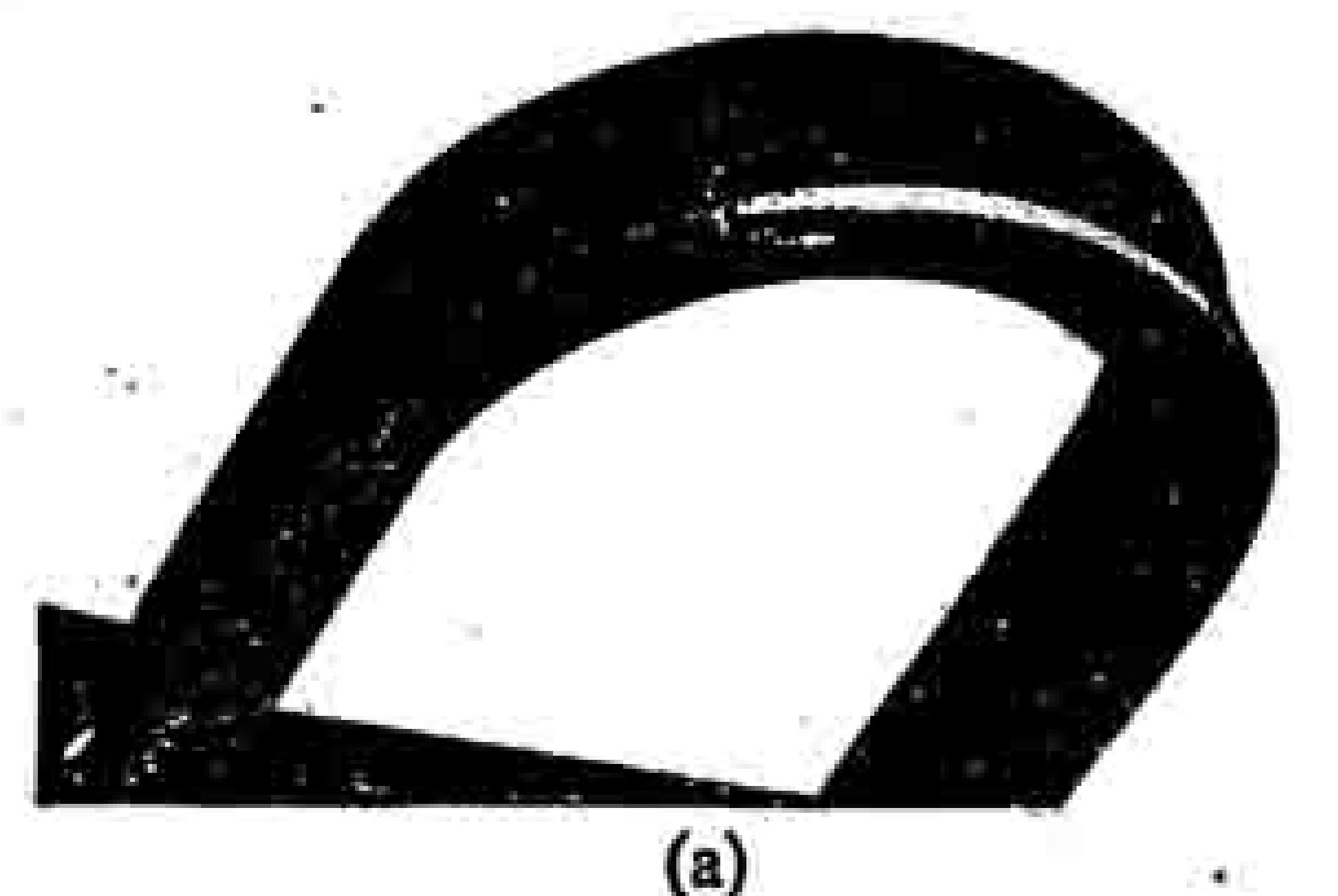
Hasil pengujian korosi menunjukan bahwa semua spesimen dengan level *prestrain* yang berbeda memiliki retak, namun retak yang terpanjang semua terjadi pada level *prestrain* 15 % dan 25 %. Pengambilan sampel bentuk retak dilakukan pada arah retak menembus ketebalan bahan (*short transversal*) (Gambar 6). Awal retak bermula pada daerah *longitudinal* bagian atasnya dan merambat hingga menyebabkan spesimen patah dalam arah *transversal* (Gambar 6b).

Panjang retak maksimum pada arah ketebalan terjadi pada spesimen *prestrain* 25%, yang diuji korosi dalam larutan $MgCl_2$ selama 288 jam adalah 3,1 mm dan retak terpendek pada spesimen tanpa *prestrain* adalah 1,4 mm.

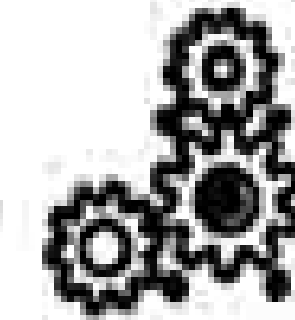
Laju perambatan retak dihitung menggunakan metode *secant*, yaitu rerata panjang retak akhir dibagi lamanya waktu peredaman spesimen dalam larutan korosi. Pada spesimen tanpa *prestrain* laju perambatan



Gambar 5. Distribusi nilai kekerasan akibat *prestrain*



Gambar 6. Retak pada spesimen dengan *prestrain* 25%, a. tampak atas, b. tampak depan

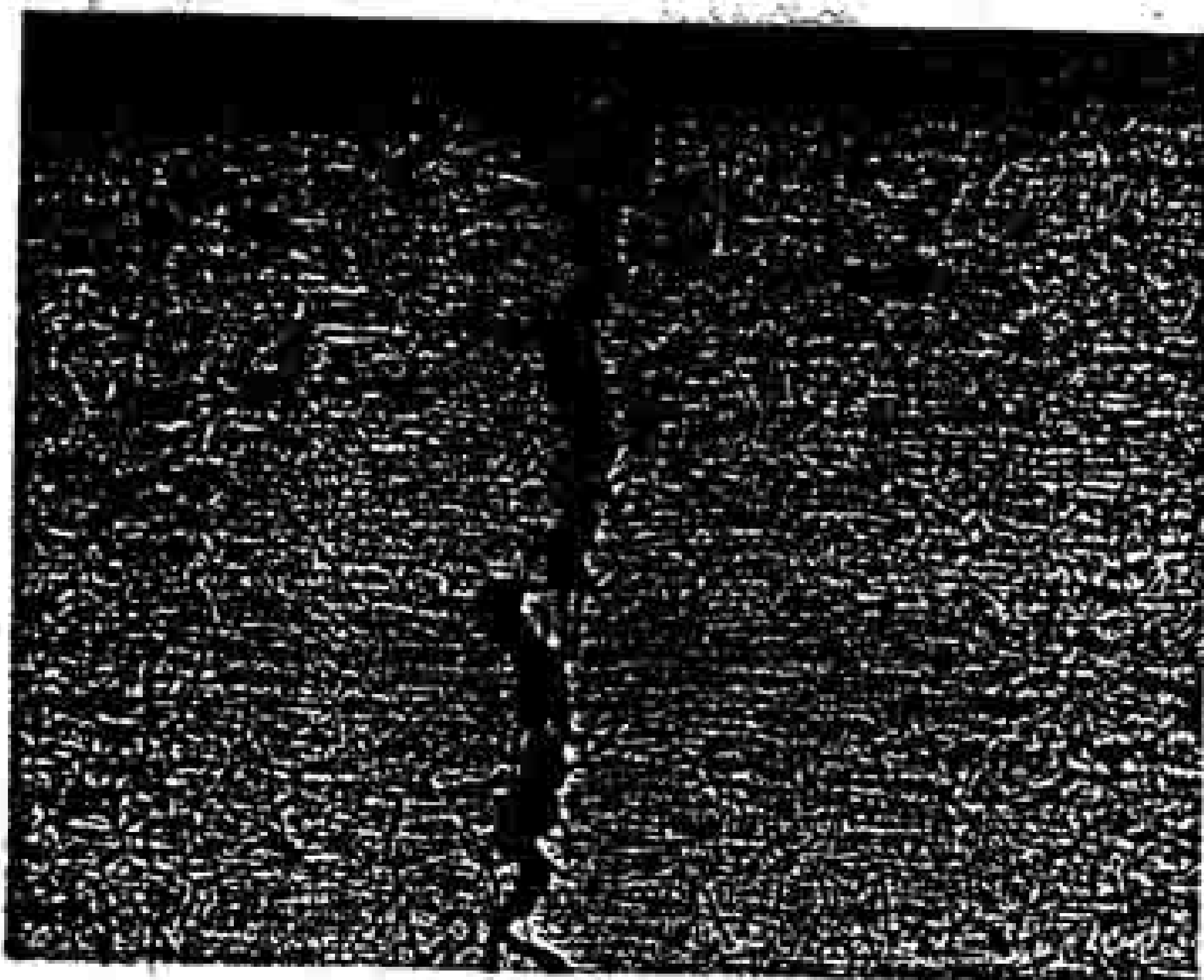


retak adalah sebesar $4,86 \mu\text{m/jam}$ dan spesimen *prestrain* 25 % adalah $10,76 \mu\text{m/jam}$. Besarnya level deformasi plastis menyebabkan waktu kegagalan semakin singkat dengan meningkatnya perambatan retak yang terjadi. Perbedaan yang penting dapat diamati antara pembentukan retak awal dan perambatannya diindikasikan bahwa pembentukan retak semuanya tidak merata pada semua spesimen dari hasil pengujian ini.

Retak yang terbentuk dipengaruhi oleh hasil deformasi plastis yang menimbulkan distorsi pada permukaan bahan setelah proses *prestrain* dan perubahan di dalam struktur mikro dapat mempengaruhi kerentanan terhadap serangan korosi retak tegang. Faktor struktur mikro yang lebih penting dihasilkan pada level deformasi plastis tinggi adalah



Gambar 7. Retak *transgranular* pada sampel spesimen 15% *prestrain* (360X)



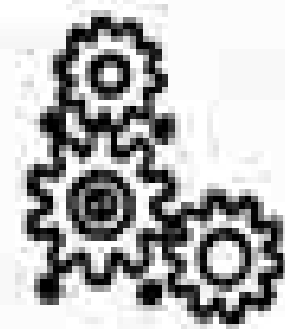
Gambar 8. Retak *transgranular* pada sampel spesimen 25% *prestrain* (360X)

meningkatnya dislokasi batas butir. Peningkatan ini menimbulkan distorsi dan menurunkan lapisan pasif pada permukaan bahan selama pengujian korosi dalam larutan magnesium klorida yang mendidih. Pada gambar 6 juga dapat dilihat bahwa retak merambat lebih cepat pada daerah *longitudinal* (bagian luar) dibanding pada daerah ketebalan (*transversal*) karena daerah bagian luar mengalami tegangan sisa berupa tarik (*tension residual stress*), yang dapat mencapai nilai maksimum pada bagian sisi luar bahan.

Pembentukan retakan bergantung pada tegangan yang diberikan karena waktu kegagalan dan waktu pembentukan retakan meningkat sejalan dengan meningkatnya tegangan yang diberikan. Ketika sebuah retakan terbentuk, maka tegangan disekitar ujung retakan meningkat. Tegangan akan mempercepat terbentuknya retakan baru di sekitar ujung retakan dan dari sana retakan tersebar tegak lurus pembebanan. Karena meningkatnya ukuran retakan menyebabkan peningkatan intensitas tegangan pada ujung retakan, percepatan laju pembentukan retak disebabkan tegangan yang lebih tinggi menghasilkan kegagalan spesimen setelah pembentukan retakan pertama.

Pada daerah yang mengalami tegangan sisa tarik dimana keretakan didominasi oleh *intergranular* bercabang lebih dominan pada level *prestrain* yang rendah di dalam larutan magnesium klorida yang mendidih. Peretakan *intergranular* dapat juga dikaitkan terhadap pergerakan dislokasi, dimana pada level *prestrain* yang rendah bahan masih mempunyai sifat liat dan densitas dislokasi yang rendah pada batas butir menyebabkan retak merambat mengikuti butirnya (Gambar 7). Serangan klorida dan tegangan sisa tarik yang bekerja secara simultan lebih bertanggung jawab dalam menimbulkan korosi retak tegang. Retak yang merambat ke arah *transversal* dari bagian luar ke bagian dalam paling besar sekitar 3,1 mm dan tidak merambat lagi karena retak tertahan oleh tegangan sisa tekan (*compressive residual stress*).

Pada umumnya peretakan *transgranular* dikarakteristikan oleh besarnya laju elongasi dalam korosi retak tegang, dan daerah yang didominasi densitas dislokasi yang tinggi



(Gambar 8).

Pada level *prestrain* yang besar menghasilkan butir yang getas, sehingga kegagalan yang terjadi diindikasikan memotong butir.

Korosi retak tegang yang terjadi tidak diiringi oleh serangan korosi merata sehingga laju korosi tidak signifikan dalam penelitian ini. Namun efek yang besar dapat dijadikan pertimbangan adalah bahwa keretakan yang terjadi lebih berbahaya dari pada efek kehilangan berat dari produk korosi. Aspek penting lainnya yang dapat mempengaruhi korosi retak tegang pada penelitian ini adalah pH larutan, besarnya konsentrasi klorida dan tingkat oksigen yang terlarut selama larutan mendidih [3].

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

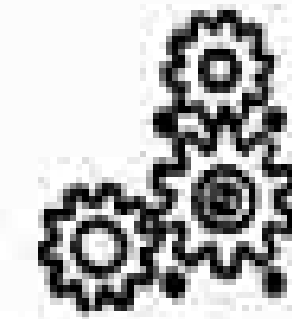
1. Proses *prestrain* dapat meningkatkan sifat mekanik bahan, karena adanya pengerasan regangan pada permukaan bahan, sebaliknya menurunkan ketahanan terhadap korosi retak tegang dalam lingkungan yang mengandung klorida pada *stainless steel* 304.
2. Kerentanan terhadap korosi retak tegang *stainless steel* tipe 304 tergantung dari besarnya level *prestrain* yang diberikan. Kerentanan terhadap SCC lebih signifikan pada level *prestrain* diatas 15%. Mode peretakan yang dihasilkan juga tergantung dari level *prestrain*.
3. Mode peretakan pada level *prestrain* yang rendah lebih didominasi oleh retak *intergranular* bercabang, sedangkan mode peretakan *transgranular* didominasi pada level *prestrain* yang lebih tinggi, yang merupakan karakteristik umum dari serangan klorida pada semua *stainless steel* tipe austenit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada DP2M DIKTI Departemen Pendidikan Nasional Indonesia atas bantuan dana penelitian melalui penelitian dosen muda. No. kontrak: 003/SP2H/PP/DP2M/III/2007.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ferrer, F., Schille, E., Verardo, D., & Goudiakas, J., 2002, "Sensitivity of Acoustic Emission for the Detection of Stress Corrosion Cracking during Static U- Bend Tests on a 316L Stainless Steel in Hot Concentrated Magnesium Chloride Media", *Journal of Material Science*, Vol. 37, 2707-2712.
- [2] Garcia, C., Martin, F., De Tiedra, P., Heredero, J. A., & Aparicio, M. L., 2001, "Effect of Prior Cold Working and Sensitization Heat Treatment on Chloride Stress Corrosion Cracking in Type 304 Stainless Steel", *Corrosion Science*, Vol. 43, 1519-1539.
- [3] Yin, R.C., Al-Shawaf, A.H., & Al-Harbi, W., 2007, "Chloride-Induced Stress Corrosion Cracking of Furnace Burner Tubes", *Engineering Failure Analysis*, Vol. 14, 36-40.
- [4] Osama, M., Alyousifa, & Rokuro Nishimura, 2007, "The Stress Corrosion Cracking Behavior of Austenitic Stainless Steels in Boiling Magnesium Chloride Solutions", *Corrosion Science*, Vol. 49, 3040-3051.
- [5] Andresen Peter, L., Angeliu Thomas, M., Catlin William, R., Lisa, M. Young, & Ron Horn, M., 2000, "Effect of Deformation on SCC of Unsensitized Stainless Steel". *NACE International Corrosion*, Paper No. 00203.
- [6] Singh, R, Swaminathan, Das, S. K., Ravi Kumar, B., & Chattoraj, I., 2005, "Effects of Cold Deformation Prior to Sensitization on Intergranular Stress Corrosion Cracking of Stainless Steel", *NACE International Corrosion*, Vol. 61, No. 9, 907-916.
- [7] Tateishi, T. & Hanjin, T., 2003, "Low Cycle Fatigue Strength of Steel in Extremely Large Strain Field", *Journal of Structural Mechanics and Earthquake Engineering*, JSCE 591, Vol. 1(43), 243-261.
- [8] Zdravko, P. and Masao Toyoda, 2001, "Fracture Properties of High Strength Low Alloy Steels under Dynamic Loading", *International Conference 39th Experimental Stress Analysis*, Tabor



- Czech Republic, 46-52.
- [9] ASTM G-30, 2003, "Standard Practice for Making and Using U-bend Stress Corrosion Test Specimens", *Annual Book of ASTM standard*, Vol. 01, 1-7.
- [10] ASTM G-36, 2000, "Standard Practice for

Evaluating Stress Corrosion Cracking Resistance of Metals and Alloys in a Boiling Magnesium Chloride Solution", *Annual Book of ASTM standard*, Vol. 03., 1-6.